

УДК 576.8:620.193.81

## АЛЬГОЦЕНОЗЫ ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГОРОДСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

**Гончарова Е.Н., Василенко М.И.**

*ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
Белгород, e-mail: vasilemn@mail.ru*

Поверхности строительных материалов в антропогенных условиях среды подвергаются процессу биообрастания не только бактериями и микроскопическими грибами, но и водорослями. В представленной работе исследован состав альгоценоза, повреждающего поверхности городских зданий, проведена идентификация водорослей, изучен их вклад в процесс биоразрушения строительных изделий. Установлена зависимость видового разнообразия альгоценозов от уровня антропогенных нагрузок территорий, меняющегося при переходе от одной функциональной зоны города к другой. Наибольшее количество видов отмечено на поверхностях зданий в экологически благополучных зонах пригорода, отсутствие представителей отделов Xanthophyta и Bacillariophyta на фоне наиболее низкого разнообразия зеленых и сине-зеленых водорослей вдоль городских дорог. Продемонстрирована важность присутствия альгосинузий для биоценозов, осваивающих искусственные субстраты в урбозкосистемах.

**Ключевые слова:** водоросли, альгоценоз, городская среда, антропогенные нагрузки, биоповреждение бетонов

## ALGAE OF THE DAMAGED SURFACES OF CITY BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

**Goncharova E.N., Vasilenko M.I.**

*Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shoukhov, Belgorod, e-mail: vasilemn@mail.ru*

The surfaces of construction materials in anthropogenous conditions are exposed to the growth not only of bacteria and microscopic mushrooms, but also algae. In the presented work the structure of the algal community, damaging surfaces of city buildings is investigated, identification of algae is carried out, their contribution to process of biodamage of construction products is studied. The dependence of a specific variety of the algae from level of anthropogenous loadings of the territories, changing upon transition from one functional zone of the city to another is established. The greatest number of species observed on the surfaces of buildings in an environmentally advantaged areas of the suburb, the absence of the representatives of divisions and Bacillariophyta Xanthophyta amid the lowest variety of green and blue-green algae along the city roads. The importance of presence of algae for the biocoenoses occupying artificial substrata in ecosystems of the cities is shown.

**Keywords:** algae, algal community, urban environment, anthropogenous loadings, biodamage of concrete

В условиях неуклонно возрастающего антропогенного давления на урбанизированных территориях интенсивно развиваются процессы биоповреждения строительных конструкций и материалов, приводящие к снижению их прочностных характеристик. Эти процессы проявляются в виде плесневения, окрашивания, обрастания, ухудшения свойств и нарушения целостности строительных изделий [6, 8]. Интенсивность и степень биodeградации зависят как от состава материалов, свойств их отдельных компонентов, состояния поверхности, так и от экологических факторов окружающей среды, в которой они находятся. Виновниками биоповреждений строительных изделий являются микроскопические грибы, бактерии, зеленые водоросли и другие организмы [2, 4].

Интенсивно развиваясь в значительном количестве, водоросли занимают часто доминирующее положение в биоценозах, и как продуценты дают начало различным пищевым цепям. Массовое развитие микроскопических водорослей нередко вызывает зеленое или красное цветение воды, почвы, снега, скал, коры деревьев, стен домов,

что сопровождается ухудшением качества и снижением долговечности строительных сооружений [4]. Морские гидротехнические сооружения из бетона даже в северных широтах подвергаются сильному воздействию со стороны водорослей и беспозвоночных животных [7]. В условиях городской среды в результате повышенного уровня влажности в плотной городской застройке, частого отсутствия водоотводов, гидрофильности используемых строительных материалов происходит конденсация значительных количеств влаги на поверхностях сооружений [9], что способствует заселению их водорослями. Тем не менее до последнего времени изучению процесса биообрастания водорослями поверхностей зданий и сооружений в открытой атмосфере населенных мест уделялось мало внимания.

Водоросли интенсивно осваивают бетонные изделия вследствие хорошей адгезии с поверхностью и потреблением образующихся на ней карбонатов, внося определенный вклад в разрушение, растрескивание материалов с отслаиванием поверхностных корок (рис. 1), создавая тем самым благоприятные условия для заселения и осваивания

такого экотопа другими живыми организмами. Формируется биоценоз, доминантными видами которого являются водоросли, определяющие возможность существования других автотрофных и гетеротрофных орга-

низмов, чаще всего литотрофных бактерий и микромицетов, ускоряющих процесс биоповреждения в значительной степени благодаря выделению агрессивных соединений в процессе метаболизма [2, 4, 5].

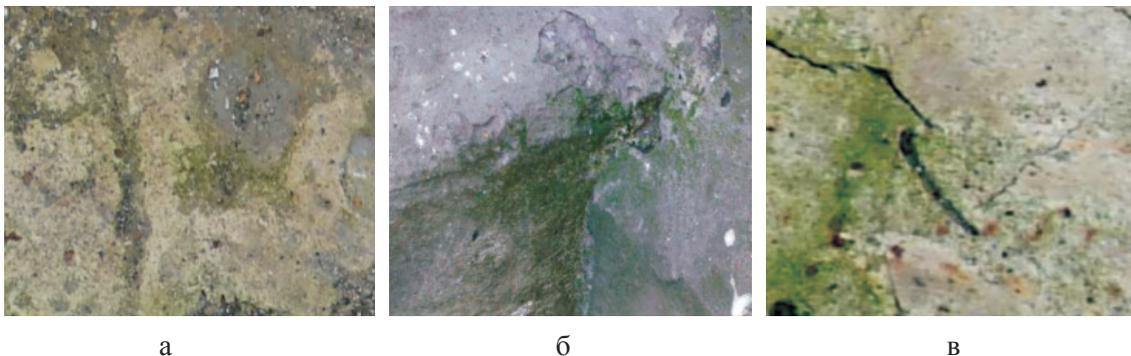


Рис. 1. Биообрастания бетонных поверхностей:  
а, б – удаление верхнего слоя; в – растрескивание железобетонной плиты

**Цель исследования** – выявить наличие водорослей на поврежденных поверхностях городских зданий, находящихся в условиях различного уровня антропогенных нагрузок. Провести идентификацию и изучить состав альгоценозов отобранных проб биоповрежденного строительного материала. Установить влияние антропогенных экологических факторов на видовой состав альгоценозов и процесс биodeградации поверхностей. Провести сравнительный анализ степени воздействия сине-зеленых, зеленых и диатомовых водорослей на бетонные образцы.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования в данной работе являлись городские здания и сооружения, образцы материала поврежденных поверхностей застройки, а также модельные образцы цементно-песчаного бетона кубической формы с ребром 20 мм (портландцемент М400 производства ОАО «Белгородский цемент»).

Пробы строительных материалов со следами биообрастаний служили источником получения смешанных и чистых культур водорослей на различных минеральных питательных средах: Успенского, Дрю, Кнопа, Чу-10 и др. путем смыва и культивирования в люминистате [3,4]. Получение чистых культур проводили с помощью метода разбавления, а затем дальнейшего культивирования на плотных питательных средах.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В процессе культивирования на питательных средах водорослей в составе смывов с поверхности разрушенного бетона были выявлены зеленые (Chlorophyta), желто-зеленые (Xanthophyta), сине-зеленые (Cyanophyta) и диатомовые водоросли (Bacillariophyta), идентифицированные в соответствии с определителями [1, 3].

Сине-зеленые водоросли были представлены в основном порядками Chlocooscales и Oscillatoriales. Отмечено наличие колоний разнообразной формы, состоящих из гомогенной слизи, в которой беспорядочно расположены клетки шаровидной формы рода *Microcystis* (рис. 2). Наблюдается также присутствие водорослей рода *Gloeocapsa*, состоящих из последовательно включенных друг в друга слизистых пузырей, наименьшие из которых окружают непосредственно шаровидные или эллипсоидные клетки. Представители рода *Gloeocapsa* очень устойчивы к температурным колебаниям в окружающей среде, поэтому могут появляться первыми на поверхности бетона в массовом количестве даже при низких температурах, сохраняясь в трещинах тела бетона на глубине нескольких сантиметров.

В порядке *Oscillatoriales* идентифицировано два рода нитчатых бактерий: *Oscillatoria* и *Phormidium*. У водорослей рода *Oscillatoria* трихомы не имеют влагища, прямые или разнообразно и неправильно изогнуты. У водорослей рода *Phormidium* все клетки в нитях также не дифференцированы по форме и функции, но трихомы имеют мягкие, слизистые, нередко расплывающиеся влагища. При высокой влажности и оптимальных для их роста температурах (15–20 °С) на поверхности бетона преобладали именно эти водоросли. Интенсивный рост *Phormidium* на безазотистой среде Дрю свидетельствовал о том, что они являются аминоавтотрофами и способны развиваться в условиях несбалансированных сред, а значит, осваивать антропогенно нагруженные территории.



Рис. 2. Зеленые, диатомовые и сине-зеленые водоросли поврежденных поверхностей строительных изделий

В смывах с поверхности разрушенного бетона выявлено наличие диатомовых водорослей порядка *Naviculales*, среди которых доминирующими являлись представители рода *Pinnularia*. Кроме того, обнаружено 3 других вида диатомовых водорослей, относящихся к этому же порядку и родам *Nitzschia* и *Navicula*. Диатомовые водоросли очень чувствительны к высыханию, их видовое разнообразие зависит от влажности окружающей среды.

Доминирующими в определенных условиях являются нитчатые зеленые водоросли, относящиеся к порядку *Ulotrichales*. Нити свободноживущие, реже прикрепленные, все клетки по форме одинаковые, за исключением концевых, трихомы иногда коленчато изогнуты (рис. 3). Нитчатые водоросли рода *Chlorhormidium* имеют слизистые влагалища, пластинчатый, дисковидный хлоропласт и при неблагоприятных условиях среды, например, в промышленных зонах, образуют споры (рис. 3, б) или делятся на фрагменты.

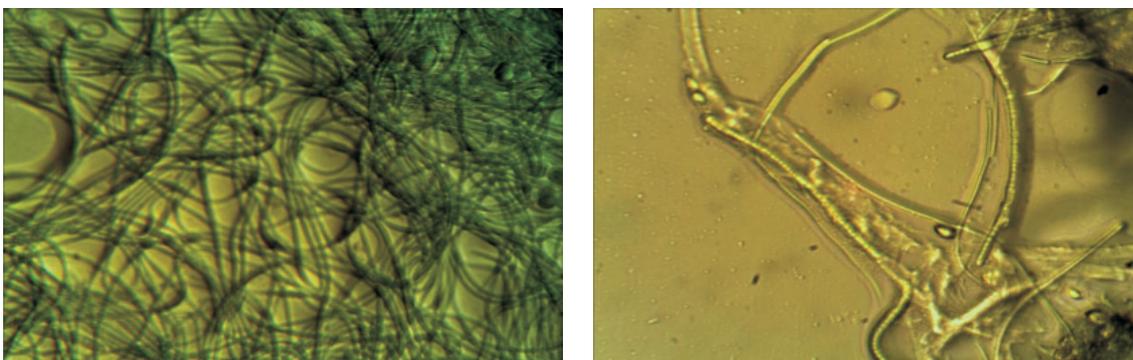


Рис. 3. Нитчатые зеленые водоросли *Chlorhormidium* sp.: а – общий вид; б – образование апланоспор

Кроме того, на поверхности разрушенного бетона обнаружены одноклеточные зеленые водоросли – *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., *Pleurococcus* sp., *Stichococcus* sp. и др.

Исследуемые образцы сколов разрушающихся бетонных поверхностей были отобраны со зданий (чаще всего их фундаментов), расположенных в условиях с разным уровнем антропогенной нагрузки: примагистральных территорий, промышленных предприятий, малоэтажной застройки пригорода, многоэтажной застройки селитебных зон. Сравнительная характеристика альгоценозов указанных образцов представлена в таблице.

Как видно из данных таблицы, наличие представителей всех четырех отделов водорослей: зеленых одноклеточных и нитчатых, желто-зеленых, диатомовых и сине-зеленых, с наибольшим видовым разнообразием наблюдалось лишь в пробах с территорий пригородной частной застройки. Только в этом варианте выявлено присутствие отдельных представителей желто-зеленых водорослей, которые являются индикаторными видами и первыми «выпадают» из водорослевых группировок при любом из видов антропогенного воздействия.

Сравнительная характеристика альгофлоры поврежденных участков поверхности городских зданий и сооружений

№ п/п	Место отбора пробы	Общее количество видов	Отделы водорослей	Доминирующие представители
1	Вдоль городских дорог	3–5	Одноклеточные Cyanophyta, Chlorophyta	Chlorophyta: <i>Pleurococcus</i> , <i>Stichococcus</i> , Cyanophyta: <i>Phormidium</i> , <i>Gloeocapsa</i>
2	Промышленные зоны	4–7	Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta	Chlorophyta: <i>Chlorhormidium sp.</i> , <i>Pleurococcus sp.</i> Bacillariophyta: <i>Nitschia</i> , <i>Navicula</i>
3	Пригородная одноэтажная застройка	6–12	Cyanophyta, Chlorophyta, Xanthophyta, Bacillariophyta	В равной степени, с небольшим преобладанием сине-зеленых и диатомовых
4	Многоэтажная застройка селитебных зон	5–8	Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta	2–3 вида сине-зеленых и диатомовых

Наименьшее видовое разнообразие было характерно для «настенного» альгоценоза зданий, расположенных вдоль городских дорог. В этом случае не только не выявлено наличие представителей желто-зеленых и диатомовых водорослей, но даже наиболее толерантные к городской антропогенной нагрузке зеленые водоросли представлены были лишь одноклеточными особями *Pleurococcus sp.* И если среди диатомовых водорослей практически по всей территории города преобладал адаптированный к жизни в условиях антропогенного стресса *Navicula sp.*, то среди сине-зеленых водорослей помимо устойчивых *Phormidium sp.* встречались и аминоксавторофы, способные использовать молекулярный азот атмосферы. Последний факт чрезвычайно важен для заселения поверхностей строительных материалов другими живыми организмами, которые нуждаются в неорганических и органических источниках азота.

С целью получения селективных культур для исследования эффекта их воздействия на бетон на плотных питательных средах были выделены зеленые и сине-зеленые водоросли. В процессе их дальнейшего культивирования в жидкой среде оптимального состава в присутствии образцов бетона наблюдали биообрастание поверхности изделий. Установлено, что по истечении 60 дней прочность образцов, выдержанных в среде зеленых и сине-зеленых водорослей, практически не снижалась. В среде с преобладанием диатомовых водорослей, для которых характерно наличие жесткой силикатной оболочки, масса образцов несколько увеличилась, а прочность возросла.

Однако визуальное наблюдение за состоянием бетонных поверхностей, засе-

ленных водорослями, в реальных условиях окружающей среды свидетельствовало о прогрессирующем нарушении их целостности (рис. 1). Несомненно, в условиях городской среды поверхности строительных изделий атакует целый комплекс организмов и разрушение, в частности, бетона идет достаточно быстрыми темпами при формирующихся благоприятных условиях для агентов, обладающих преимущественным агрессивным типом воздействия (хемолитотрофные бактерии и микромицеты).

Учитывая, что одним из важных параметров системы «строительный материал – альгофлора» является величина кислотности среды (pH), провели исследования по изучению влияния pH (в интервале 5,5–10,0) на интенсивность развития водорослей. Отмечено, что при значении  $pH \leq 6,0$  водоросли не размножаются вовсе, а наибольший прирост биомассы имеет место в интервале pH от 8,0 до 10.

Таким образом, одним из регулирующих факторов процесса заселения и дальнейшего разрушения поверхностей материалов водорослями является величина pH, щелочные значения которой характерны для цементсодержащих изделий, покрытых пленкой карбонатов, что и объясняет возникновение благоприятной ситуации для развития водорослей на бетонных поверхностях.

### Заключение

Показано, что альгоценозы биоповрежденных поверхностей городских строений разных функциональных зон характеризуются значительным видовым разнообразием, наибольшее из которых (по все четырем отделам водорослей) наблюдается в условиях минимальной техногенной на-

грузки пригородных жилых районов. Прслеживается наличие наиболее устойчивых видов – *Phormidium sp.*, *Stichococcus sp.*, *Chlorhormidium sp.*, *Navicula sp.* практически на всех исследованных поверхностях зданий. Однако количественные показатели плотности водорослей на поверхности бетона в наиболее благоприятный для их развития период (влажные весна и лето) могут составлять несколько миллионов на 1 см<sup>2</sup>, что совпадает с явлением массового развития водорослей на поверхности почвы («цветение» почв).

Биообрастанию подвергаются участки, на которых конденсируется большое количество влаги, поэтому значительные повреждения наблюдаются на горизонтальных поверхностях бетонных плит, вертикальных поверхностях фундаментов у основания зданий, где существует вклад капиллярных почвенных вод, в местах сбегаяющей по фасаду дождевой воды от балконных и оконных перекрытий. Важным является тот факт, что именно водоросли, относящиеся к фототрофам и стоящие в начале пищевых цепей, инициируют развитие микробоценозов и процессы биоповреждений, создавая оптимальные условия для наиболее популярных деструкторов строительных материалов – микроскопических грибов, которые не могут расти на поверхностях, не имеющих органических питательных веществ, а отдельные плохо растут при значениях рН среды менее 8.

Состав водорослей на строительных материалах может значительно отличаться от времени года и экологических параметров окружающей среды, доминирующие, наиболее адаптивные виды при этом сменяют друг друга, но тенденция в изменении видового разнообразия в зависимости от качества городской среды сохраняется, что позволяет рассматривать поверхностные альгоценозы как индикаторы экологического состояния территорий.

*Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 гг.*

#### Список литературы

1. Анисимова О.В., Гололобова М.А. Краткий определитель родов водорослей. – М.: Изд. МГУ, 2006. – 159 с.
2. Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Микробиологические особенности процесса повреждения бетонных поверхностей // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 4 (ч. 4) – С. 886–891.
3. Водоросли. Справочник / С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
4. Возбудители микробиологической коррозии бетона / Е.Н. Гончарова, В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Ю.В. Чаплина // *Экология и промышленность России*. – 2003. – № 3. – С. 22–24.
5. Гончарова Е.Н., Чаплина Ю.В., Круть В.В. Защита строительных материалов от биокоррозии // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им В.Г. Шухова*. – 2004. – № 8. – С. 48–50.
6. Евтушенко Е.И., Лесовик В.С. Стабилизация свойств строительных материалов на основе техногенного сырья // *Известия высших учебных заведений «Строительство»*. – 2002. – № 12. – С. 40–44.
7. Звягинцев А.Ю. Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 432 с.
8. Савин А.В., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. К проблеме коррозионной стойкости железобетона // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им В.Г. Шухова*. – 2013. – № 2. – С. 7–12.
9. Künzel H.M., Sedlbauer K. Biological Growth on Stucco. – Buildings VIII-Proceedings Clearwater Beach Dec. 2001, ASHRAE Publication.

#### References

1. Anisimova O.V., Gololobova M.A. *Kratkij opredelitel' rodov vodoroslej. Uchebnoe posobie. [Algas. Directory]. Moscow, Moscow State University publishing house, 2006. p. 159.*
2. Vasilenko M.I., Goncharova E.N. *Fundamental'nye issledovaniya Basic researches, 2013, no. 886–891.*
3. Vasser S.P., Kondrat'eva N.V. and oth. *Vodorosli. Spravochnik. [Algas. Directory]. Kiev, Publ. house «Nauk. dumka», 1989, p. 608.*
4. Goncharova E.N., Jurchenko V.A., Brigada E.V., Chaplina Ju.V. *Jekologija i promyshlennost' Rossii – Ecology and industry of Russia, 2003, no. 3, pp. 22–24.*
5. Goncharova E.N., Chaplina Ju.V., Krut' V.V. *Vestnik BGTU im V.G. Shuhova, 2004, no. 8, pp. 48–50.*
6. Evtushenko E.I., Lesovik V.S. *Vestnik otdelenija stroitel'nyh nauk – The Messenger of office of construction sciences, 2005, no. 9, pp. 267–271.*
7. Zvjagincev A.Ju. *Morskoe obrastanie v severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana. [The sea obrastaniye in northwest part of the Pacific Ocean]. Vladivostok, Dal'nauka, 2005. p. 432.*
8. Savin A.V., Lesovik V.S., Alfimova N.I. *Vestnik BGTU im V.G. Shuhova, 2013, no. 2, pp. 7–12.*
9. Künzel H.M., Sedlbauer K. *Biological Growth on Stucco. Buildings VIII-Proceedings Clearwater Beach Dec. 2001, ASHRAE Publication.*

#### Рецензенты:

Шапошников А.А., д.б.н., профессор кафедры биоценологии и экологической генетики Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород;

Павленко В.И., д.т.н., профессор, директор Института строительного материаловедения и техносферной безопасности, ФГБОУ «БГТУ им. В.Г. Шухова», г. Белгород.  
Работа поступила в редакцию 07.06.2013.